

Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«МИСиС»

НОВОТРОИЦКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра металлургических технологий

Шаповалов А.Н.,

Большина Е.П.

**РАСЧЕТ ШИХТЫ И МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА  
АГЛОМЕРАЦИОННОГО ПРОЦЕССА**

Методические указания  
для выполнения курсовой работы  
по дисциплине «Металлургические технологии, ч.1»  
для студентов направления 150400 «Металлургия»  
для очной формы обучения

Новотроицк 2014

*Рецензенты:*

***Директор ФГАОУ ВПО НФ НИТУ МИСиС,  
к.т.н., доцент А.В. Заводяный***

***Заведующий кафедрой металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.Н.  
Носова», д.т.н., профессор В.А. Бигеев***

**Шаповалов А.Н., Большина Е.П.** Расчет шихты и материального баланса агломерационного процесса: Методические указания для выполнения курсовой работы по дисциплине «Металлургические технологии, ч.1» для студентов направления 150400 «Металлургия». – Новотроицк: НФ НИТУ МИСиС, 2014 – 40 с.

Настоящие указания преследуют цель обучения студентов навыкам правильного решения вопросов, связанных с расчетами шихты и материального баланса агломерационного процесса.

Изложена сущность процесса агломерации и на примере показана последовательность расчетов шихты и материального баланса агломерационного процесса с целью определения химического состава и условий производства агломерата заданной основности.

*Рекомендовано Методическим советом НФ НИТУ «МИСиС»*

© Новотроицкий филиал  
ФГАОУ ВПО «Национальный  
исследовательский  
технологический университет  
«МИСиС», 2014

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| Введение.....   | 4  |
| 1 Сущность процесса агломерации.....  | 5  |
| 2 Пример расчета шихты и материального баланса агломерационного процесса.....                   | 7  |
| 2.1 Исходные данные.....  | 7  |
| 2.2 Проверка суммы компонентов химического состава сырых материалов на 100%.....                | 9  |
| 2.3 Определение состава рудной смеси.....   | 13 |
| 2.4 Определение расхода материалов на выплавку 1 т чугуна.....                                  | 14 |
| 2.5 Расчет агломерационной шихты, определение состава агломерата..                              | 17 |
| 2.5.1 Определение расхода коксика.....  | 17 |
| 2.5.2 Определение состава агломерата.....   | 19 |
| 2.5.3 Определение направленности процесса агломерации.....                                      | 22 |
| 2.5.4 Определение состава увлажненной шихты с возвратом на 100 кг сухой шихты без возврата..... | 23 |
| 2.5.5 Уточнение состава агломерата.....   | 25 |
| 2.6 Расчеты горения в агломерационном процессе.....   | 27 |
| 2.6.1 Расчеты горения газа для зажигания шихты.....   | 27 |
| 2.6.2 Расчеты горения углерода и серы на 100 кг сухой шихты с возвратом.....                    | 30 |
| 2.6.3 Состав и количество сухих продуктов горения на 100 кг сухой шихты с возвратом.....        | 31 |
| 2.6.4 Количество влаги, переходящей в продукты горения на 100 кг сухой шихты с возвратом.....   | 32 |
| 2.7 Составление материального баланса агломерационного процесса...                              | 32 |
| 3 Определение расхода материалов на 100 кг годного агломерата.....                              | 33 |
| Список рекомендуемой литературы.....  | 34 |
| Приложение А. Варианты заданий.....   | 35 |
| Приложение Б. Химический состав компонентов агломерационных шихт.....                           | 37 |

## Введение

Расчет агломерационной шихты ведут с целью определения такого соотношения между ее компонентами, которое обеспечит получение агломерата заданного качества. В простейшем случае при заданном расходе руды и коксовой мелочи необходимо вычислить только расход известняка. Расчет сводится при этом к решению одного уравнения с одним неизвестным (уравнение баланса основности шихты). Зная содержание  $\text{SiO}_2$  в руде до и после перешихтовки, легко вычислить и величину поправки к расходу известняка в шихту. На практике это случается при внезапном изменении состава спекаемых руд и концентратов.

В случае совместного определения расхода рудной смеси и известняка расход коксовой мелочи задается на основании экспериментальных данных или с учетом реальных расходов топлива на агломерационных фабриках при спекании однотипных руд. Расчет сводится к решению системы двух уравнений с двумя неизвестными (уравнения материального баланса спекания и баланса основности агломерата). Расход коксовой мелочи задается перед началом расчетов.

Полный расчет агломерационной шихты предусматривает совместное определение расходов рудной смеси, известняка и коксовой мелочи при решении трех уравнений с тремя неизвестными (уравнения материального баланса спекания, баланса основности агломерата, теплового баланса агломерации). Такой расчет производится при переходе на совершенно новую шихту, а также при проектировании металлургических заводов, когда при отсутствии экспериментальных данных о расходе топлива на спекание, необходимо производить полный расчет шихты с определением расхода коксовой мелочи из теплового баланса спекания.

Цель курсовой работы – научить студентов определять расходы компонентов шихты на всех стадиях металлургического производства; овладеть критериями оценки качества рудного и топливного сырья, методами расчета и выбора оптимальных параметров агломерационного процесса.

При выполнении курсовой работы формируются компетенции: самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные технологии; уметь использовать фундаментальные общеинженерные знания; уметь осуществлять и корректировать технологические процессы в металлургии.

В курсовой работе предстоит выполнить расчет состава аглошихты и составить материальный баланс процесса.

Варианты заданий приведены в Приложении А, составы компонентов агломерационной шихты – в Приложении Б.

Указания соответствуют государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования по направлению 150400 «Металлургия».

Ниже приведен пример упрощенного расчета агломерационной шихты и материального баланса.

## 1 Сущность процесса агломерации

Агломерацией называется процесс окускования мелких руд и концентратов путем их расплавления и последующей кристаллизации расплава с образованием прочного пористого материала – агломерата.

Это позволяет не только окусковать пылеватые железорудные материалы, использование которых в доменной плавке исключается в связи с резким ухудшением газодинамических условий доменного процесса при загрузке в печь мелких материалов, но и улучшить металлургическую ценность железорудного сырья повышением его основности и уменьшением содержания в нем вредных примесей (главным образом, серы).

Агломерат получают в результате термической обработки шихты, которая представляет собой смесь железорудных концентратов крупностью 0-8 мм, возврата (оборотного продукта агломерационного производства) крупностью 0-6 (10)мм, коксика (коксовой мелочи) и флюса крупностью не более 3 мм, колошниковой пыли и окалины.

Основными составляющими шихты являются концентрат (60-70%) и возврат (25-35%). Флюс дают в шихту в количествах, обеспечивающих заданную основность агломерата. Коксик в шихте является основным источником тепла для проведения агломерационного процесса. Расход его в зависимости от минералогического типа руды, ее крупности, содержания в ней сульфидной или сульфатной серы колеблется от 4 до 10%. В связи с дефицитом коксика в качестве топлива при агломерации в настоящее время также используют каменные угли с относительно небольшим содержанием летучих веществ (не более 17%) и золы (не более 15%). Колошниковую пыль и окалину вводят в шихту при их наличии в количестве 2-5%.

Перед спеканием шихту перемешивают и увлажняют. Перемешивание шихты осуществляют с целью усреднения ее состава, что является основным условием равномерного протекания процесса агломерации в отдельных микрообъемах спекаемого слоя и производства более однородного по составу и свойствам агломерата. Увлажняют шихту до оптимального предела (6-14%), обеспечивающего наилучшую газопроницаемость спекаемого слоя вследствие объединения мелких составляющих шихты под связующим воздействием обволакивающих их тонких пленок воды в сравнительно крупные агрегаты во время обработки шихты в окомкователе.

Перемешанную и увлажненную шихту загружают на колосниковую решетку спекательных тележек (паллет) агломерационной машины слоем высотой 170-700 мм. Спекательные тележки, плотно прижатые друг к другу, перемещают по рабочей ветви машины со стороны загрузки шихты на сторону выдачи агломерата.

В вакуум-камерах, над которыми движутся паллеты со спекаемым слоем шихты, при помощи эксгаустера создается разрежение до 9-12 кПа, благодаря чему воздух просасывается через шихту сверху вниз в вакуум-камеры.

Воспламенение коксика верхнего слоя шихты осуществляют горячими продуктами горения жидкого или газообразного топлива, сжигаемого в

зажигательном горне, расположенном над первыми вакуум-камерами. После выхода спекательной тележки из-под зажигательного горна горение коксика в нижележащих слоях шихты продолжается вследствие окисления углерода его кислородом, содержащимся в продуктах горения, которые поступают из вышележащих раскаленных слоев и нагревают нижележащие слои спекаемой шихты до температуры воспламенения коксика (около 700 °С). Слой шихты, в котором происходит горение топлива, называется зоной шихты, в котором происходит горение топлива, называется зоной горения. Высота зоны горения составляет 10-30 мм. Температура в ней достигает 1350-1550 °С. По мере выгорания углерода коксика зона горения перемещается в направлении прососа воздуха сверху вниз до колосниковой решетки.

Шихта в зоне горения в зависимости от количества выделяющегося тепла, развиваемой температуры и крупности компонентов может частично или полностью расплавляться. Нерасплавленные частицы обволакиваются жидкой фазой. Переход из жидкого состояния в твердое, т.е. образование собственно агломерата сопровождается кристаллизацией из расплава магнетита, гематита, вюститита, силикатов и ферритов кальция и других минералов при охлаждении потоком воздуха объемом спекаемого слоя после выгорания в них углерода. При росте кристаллов жидкая фаза оттесняется их гранями из мест ее первоначального образования, заполняет промежутки между кристаллами, различного рода пустоты и там при охлаждении затвердевает, цементируя микрообъемы спекаемой шихты, прошедшие различные стадии физико-химических превращений, в прочный пористый сросток – агломерат.

Агломерационный процесс начинается с момента зажигания шихты (воспламенения коксика верхнего слоя шихты) и заканчивается с подходом зоны горения к колосникам спекательной тележки.

С целью устранения контактов колосников с зоной горения и уменьшения просыпания шихты через щели между ними в вакуум-камеры, а также облегчения сброса аглоспека с машины на колосники перед загрузкой на них шихты насыпают слой постели высотой 15-20 мм.

Для нее используют возврат крупностью 6-15 мм.

В спекаемом слое шихты спустя некоторое время после зажигания ее можно выделить ряд зон, частично перекрывающих друг друга и расположенных в следующей очередности сверху вниз:

- 1) готового агломерата;
- 2) горения топлива и образования расплава;
- 3) подогрева;
- 4) сушки (испарения гигроскопической влаги);
- 5) переувлажнения, в которой содержание влаги на 20-30% больше, чем в шихте, приготовленной к спеканию;
- 6) конденсации, в которой температура газового потока при соприкосновении с холодной шихтой понижается ниже точки росы (примерно 50-55 °С). Вследствие этого водяной пар, выносимый газовым потоком,

конденсируется в этих объемах шихты. Перемещаясь вниз, зона конденсации после себя оставляет зону переувлажнения;

7) шихты, не претерпевшей никаких, кроме усадки (уплотнения), изменений. Усадка шихты вызывается разностью давлений над поверхностью слоя и у колосников вследствие разрежения, создаваемого в вакуум-камерах.

Процессы, протекающие в этих зонах, и глубинах их завершенности зависят от крупности компонентов шихты, температуры, состава газовой фазы и скорости процесса спекания.

В зоне подогрева происходит разложение гидратов, карбонатов, восстановление или окисление окислов железа. Причем, начавшись в зоне подогрева, некоторые из этих процессов могут продолжаться в зоне горения и заканчиваться после прохождения зоны горения во время охлаждения агломерата.

Вышеназванные зоны после их возникновения перемещаются в спекаемом слое по направлению к колосникам со скоростью спекания и исчезают в обратной последовательности, в результате чего на спекательной тележке остается только агломерат.

Скорость спекания  $V$  (мм/мин) определяют по уравнению:

$$V = H/\tau, \quad (1)$$

где  $H$  – высота слоя шихты на спекательных тележках до ее зажигания, мм;

$\tau$  – от начала зажигания шихты до окончания процесса спекания, мин.

Процесс агломерации заканчивают над предпоследней вакуум-камерой, и после прохождения спекательной тележкой последней вакуум-камеры аглоспек с нее сбрасывается в дробилку. После дробления и охлаждения аглоспека из нее грохочением выделяют возврат, постель и годный агломерат, отправляемый в доменный цех для выплавки чугуна.

## **2 Пример расчета шихты и материального баланса агломерационного процесса**

### **2.1 Исходные данные**

Агломерационная фабрика должна производить прочный легковосстановимый низкосернистый агломерат, состав, которого обеспечивает получение заданной марки чугуна без использования в доменной шихте сырого флюса.

Химический состав агломерата и его качество зависят от состава и соотношения отдельных материалов (компонентов) в агломерационной шихте.

С целью определения необходимого расхода материалов в агломерационную шихту выполняют ее расчет. Для того, чтобы рассчитать агломерационную шихту, надо знать химический состав используемых материалов, относительное содержание железорудных компонентов в рудной смеси и заданную основность агломерата.

Варианты заданий для расчета приведены в Приложении А, химические составы используемых материалов в Приложении Б, технический состав топлива (коксика), применяемого в аглошихте, а также химический состав золы коксика, окалина и металлодобавок, принимаются студентами самостоятельно.

Для расчета заданы химические составы используемых материалов (таблица 2.1) и технический состав кокса (таблица 2.2) при условии содержания в рудной смеси, %: руды – 12,0; концентрата I – 45,0; концентрата II – 38,5; окалина – 4,5 и расходе на выплавку 1000 кг чугуна влажного кокса 436 и металлодобавок 6 кг.

Таблица 2.1 - Химический состав сырых материалов, %

| Компоненты                     | Железная руда | Концентрат I | Концентрат II | Окалина | Металлодобавки | Известняк | Зола кокса |
|--------------------------------|---------------|--------------|---------------|---------|----------------|-----------|------------|
| W <sup>p</sup> *               | 2,30          | 2,30         | 4,30          | 3,00    | -              | 1,10      | -          |
| Fe                             | 55,70         | 64,27        | 59,30         | 69,97   | 90,50          | 0,39      | 3,59       |
| Mn                             | 0,10          | 1,02         | 0,25          | 0,26    | 0,40           | -         | -          |
| P                              | 0,042         | 0,183        | 0,75          | 0,065   | 0,030          | 0,068     | 0,240      |
| S                              | 0,026         | 0,041        | 0,021         | 0,044   | 0,030          | 0,048     | -          |
| SiO <sub>2</sub>               | 11,10         | 1,09         | 7,80          | 1,05    | 8,84           | 1,48      | 5066       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2,90          | 0,82         | 5,34          | 0,50    | -              | 0,49      | 28,56      |
| CaO                            | 1,60          | 0,62         | 0,59          | 0,68    | -              | 51,46     | 9,05       |
| MgO                            | 1,40          | 6,31         | 0,49          | 0,23    | -              | 3,46      | 7,60       |
| FeO                            | 13,40         | 23,78        | 19,77         | 27,25   | -              | -         | -          |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | -             | 65,38        | 62,74         | 69,69   | -              | 0,56      | -          |
| SO <sub>3</sub>                | -             | -            | -             | 0,109   | -              | 0,119     | -          |
| FeS <sub>2</sub>               | -             | 0,077        | 0,039         | -       | -              | -         | -          |
| MnO                            | -             | 1,32         | 0,32          | 0,33    | -              | -         | -          |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | -             | 0,42         | 1,72          | 0,15    | -              | 0,158     | 0,55       |
| П.п.п.                         | 0,35          | 0,20         | 1,22          | -       | -              | 42,26     | -          |
| C                              | -             | -            | -             | -       | 0,20           | -         | -          |

Таблица 2.2 – Технический состав кокса, %

| W <sup>p</sup> | A <sup>c</sup> | V <sup>c</sup> | S <sup>c</sup> | C <sup>c</sup> <sub>нел</sub> | C <sup>c</sup> <sub>общ</sub> | N <sup>c</sup> <sub>2</sub> | H <sup>c</sup> <sub>2</sub> |
|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 2,6            | 14             | 0,9            | 0,52           | 83,11                         | 83,42                         | 0,83                        | 0,75                        |

Расчет выполняется в следующей последовательности:

- 1) проверка суммы компонентов химического состава сырых материалов на 100%;
- 2) оценка сырых материалов по содержанию в них фосфора и марганца с целью выбора марки и состава чугуна;
- 3) определение расхода рудных материалов и флюсов на выплавку 1000 кг чугуна;
- 4) расчет агломерационной шихты и определение состава агломерата;
- 5) составление материального баланса агломерационного процесса.



## 2.2 Проверка суммы компонентов химического состава сырых материалов на 100%

В химических составах материалов часто указывается содержание некоторых элементов в свободном состоянии. Поэтому, если сложить цифры, отражающие содержание всех компонентов химического состава того или иного материала, сумма их будет меньше 100%.

Сводимость же материального баланса агломерационного и доменного процессов возможна лишь при равенстве суммы всех составляющих химического состава 100%.

При пересчете химического состава нужно иметь в виду, что в железной руде железо находится в виде соединений  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{FeS}_2$ , марганец  $\text{MnO}$ , фосфор  $\text{P}_2\text{O}_5$ , сера  $\text{FeS}_2$  и  $\text{SO}_3$ , которые могут быть связаны с другими компонентами химического состава (см. таблицу 2.1.). При отсутствии данных о соединениях серы в материалах условно принимается, что вся сера в магнетитовых и полумартитовых рудах связана в пирит  $\text{FeS}_2$ , в других типах железных руд, известняках, окалине и колошниковой пыли в серный ангидрид  $\text{SO}_3$ .

В потери при прокаливании (п.п.п.) в бурых железняках в основном входит гидратная влага, в сидеритах и известняках – двуокись углерода  $\text{CO}_2$ . В остальных материалах к потерям при прокаливании условно относится гидратная влага.

Прежде чем производить проверку суммы составляющих химического состава железной руды или концентрата, необходимо установить их минералогический тип исходя из содержания в них железа, закиси железа и потерь при прокаливании.

Определить тип руды можно, пользуясь данными таблицы 2.3.

Таблица 2.3 - Химический состав руд различного минералогического типа, %

| Тип руды           | Fe    | FeO      | П.п.п. |
|--------------------|-------|----------|--------|
| Красный железняк   | 53-60 | До 2,5   | До 5,0 |
| Магнитный железняк | 40-65 | 15-28    | До 5,0 |
| Бурый железняк     | 35-50 | До 2,0   | 10-12  |
| Сидерит            | 28-35 | Более 28 | 30-33  |

Минералогический тип руды, получившейся в результате окисления магнетита, устанавливается по отношению в ней общего содержания железа к содержанию двухвалентного железа  $\text{Fe}_{\text{общ}} : \text{Fe}^{2+}$ , принимаемому по классификации академика М.А. Павлова в следующих пределах [5]:

- магнетит -  $< 3,5$ ;
- полумартит –  $3,5-7,0$ ;
- мартит -  $> 7,0$ .

Пересчет на 100% состава железной руды выполняется в следующей последовательности.

Оценивается минералогический тип исходного состава руды, %: Fe – 55,70; Mn – 0,10; P – 0,042; S – 0,026; SiO<sub>2</sub> – 11,1; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2,9; CaO – 1,6; MgO – 1,4; FeO – 13,4; п.п.п. – 0,35.

Руда по типу относится к окисленным магнитным железнякам (это определяется, исходя из содержания в руде FeO). Так как отношение Fe<sub>общ</sub> : Fe<sup>2+</sup> в руде больше 3,5, но меньше 7,0 (Fe<sub>общ</sub> : Fe<sup>2+</sup> = 55,70 : 13,4 = 4,16), то ее можно отнести к полумартитовым. Следовательно, сера в руде находится в виде пирита FeS<sub>2</sub>.

1) Определение содержания пирита в руде.

Количество железа в руде, связанного с серой определяется из уравнения:

$$\%Fe_S = \%S_p \cdot \frac{M_{Fe}}{M_S}, \quad (2)$$

где %S<sub>p</sub> – сера руды, %;

M<sub>Fe</sub> – молекулярная масса атомов железа в пирите;

M<sub>S</sub> – молекулярная масса атомов серы в пирите.

$$\text{Отсюда: } \%Fe_S = 0,026 \cdot \frac{56}{64} = 0,02\%.$$

По известному содержанию серы определяется количество пирита FeS<sub>2</sub> в руде:

$$\%FeS_2 = \%Fe_S \cdot \frac{M_{FeS_2}}{M_{Fe}}, \quad (3)$$

где M<sub>FeS<sub>2</sub></sub> – молекулярная масса FeS<sub>2</sub>.

$$\text{Тогда по уравнению (1.3): } \%FeS_2 = 0,02 \cdot \frac{120}{56} = 0,04\%.$$

2) Определение содержания Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в руде.

Количество железа, связанного в закись железа FeO определяется по уравнению:

$$\%Fe_{FeO} = \%FeO_p \cdot \frac{M_{Fe}}{M_{FeO}}, \quad (4)$$

где %FeO<sub>p</sub> – содержание FeO в руде, %;

M<sub>FeO</sub> – атомная масса FeO.

$$\text{Тогда } \%Fe_{FeO} = 13,4 \cdot \frac{56}{72} = 10,42\%.$$

Количество железа, находящегося в Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, определяется по разности между общим его содержанием в руде и связанным в FeS<sub>2</sub> и FeO:

$$\%Fe_{Fe_2O_3} = 55,70 - 0,02 - 10,42 = 45,26\%.$$

Содержание  $Fe_2O_3$  в руде находится из уравнения:

$$\%Fe_2O_3 = \%Fe_{Fe_2O_3} \cdot \frac{M_{Fe_2O_3}}{M_{Fe}}, \quad (5)$$

где  $M_{Fe_2O_3}$  – молекулярная масса  $Fe_2O_3$ ;

$M_{Fe}$  – молекулярная масса атомов железа в  $Fe_2O_3$ .

$$\text{Отсюда в руде содержится } Fe_2O_3: 45,26 \cdot \frac{160}{112} = 64,66\%.$$

3) Определяется содержание закиси марганца  $MnO$  в руде:

$$\%MnO_p = \%Mn_p \cdot \frac{M_{MnO}}{M_{Mn}}, \quad (6)$$

где  $\%Mn_p$  – содержание марганца в руде, %;

$M_{MnO}$  – молекулярная масса  $MnO$ ;

$M_{Mn}$  – молекулярная масса атомов марганца в  $MnO$ .

$$\text{Тогда } \%MnO_p = 0,1 \cdot \frac{71}{55} = 0,13\%.$$

4) Определяется количество пентаоксида фосфора в руде  $P_2O_5$ :

$$\%P_2O_{5p} = \%P_p \cdot \frac{M_{P_2O_5}}{M_P}, \quad (7)$$

где  $\%P_p$  – количество фосфора в руде, %;

$M_{P_2O_5}$  – молекулярная масса  $P_2O_5$ ;

$M_P$  – молекулярная масса атомов фосфора в  $P_2O_5$ .

$$\text{Тогда } \%P_2O_{5p} = 0,042 \cdot \frac{142}{62} = 0,096\%.$$

5) Пересчет химического состава руды на 100%.

В результате проделанных выше расчетов химический состав руды можно записать следующим образом, %:  $Fe_2O_3$  – 64,66;  $FeO$  – 13,7;  $FeS_2$  – 0,04;  $MnO$  – 0,13;  $P_2O_5$  – 0,096;  $SiO_2$  – 11,1;  $Al_2O_3$  – 2,90;  $CaO$  – 1,60;  $MgO$  – 1,40; п.п.п. – 0,35.

При сложении содержания всех компонентов химического состава руды, получается  $\Sigma X_p = 95,98\%$ .

Неравенство суммы компонентов 100% может быть следствием неточности проведения химического анализа или ошибочно принятого распределения элементов по соединениям.

Пересчет состава руды на 100% проводится по каждому веществу по уравнению:

$$\%X_{100} = \frac{\%X_p}{\Sigma X_p}, \quad (8)$$

где %X – содержание компонента X.

Тогда, пересчитанное содержание, например  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , в руде будет:  $\frac{64,66}{95,98} \cdot 100 = 67,37\%$ . Аналогично проводится пересчет на 100% других

компонентов:

$$\text{FeO}: \frac{13,7}{95,98} \cdot 100 = 14,27\%,$$

$$\text{FeS}_2: \frac{0,04}{95,98} \cdot 100 = 0,04\%,$$

$$\text{MnO}: \frac{0,13}{95,98} \cdot 100 = 0,14\%,$$

$$\text{P}_2\text{O}_5: \frac{0,096}{95,98} \cdot 100 = 0,100\%,$$

$$\text{SiO}_2: \frac{11,1}{95,98} \cdot 100 = 11,56\%,$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3: \frac{2,90}{95,98} \cdot 100 = 3,02\%,$$

$$\text{CaO}: \frac{1,60}{95,98} \cdot 100 = 1,67\%,$$

$$\text{MgO}: \frac{1,40}{95,98} \cdot 100 = 1,46\%,$$

$$\text{п.п.п.}: \frac{0,35}{95,98} \cdot 100 = 0,36\%,$$

$$\text{Fe}: 67,37 \frac{112}{160} + 14,27 \frac{56}{72} + 0,04 \frac{56}{120} = 58,26\%, \quad \text{Mn}: 0,14 \cdot \frac{55}{71} = 0,11\%,$$

$$\text{P}: 0,10 \cdot \frac{62}{142} = 0,044\%, \quad \text{S}: 0,04 \cdot \frac{64}{120} = 0,021\%.$$

Аналогично проводится пересчет состава на 100% других компонентов агломерационной шихты в соответствии с заданием. Расчеты должны выполняться по всем компонентам, кроме фосфора и серы с точностью до 0,01%. Фосфор и сера рассчитываются с точностью до 0,001%.

Пересчитанные на 100% составы всех материалов вписываются в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 - Химический состав сырых материалов, % (пересчитанный на 100%)

| Компоненты                     | Железная руда | Концентрат I | Концентрат II | Окалина | Металло-добавки | Извест-няк | Зола кокса |
|--------------------------------|---------------|--------------|---------------|---------|-----------------|------------|------------|
| W <sup>p</sup> *               | 2,30          | 2,30         | 4,30          | 3,00    | -               | 1,10       | -          |
| Fe                             | 58,26**       | 64,27**      | 59,30**       | 69,97** | 90,50           | 0,39**     | 3,59       |
| Mn                             | 0,11**        | 1,02**       | 0,25**        | 0,26**  | 0,40            | -          | -          |
| P                              | 0,044**       | 0,183**      | 0,75**        | 0,065** | 0,030           | 0,068**    | 0,240**    |
| S                              | 0,021**       | 0,041**      | 0,021**       | 0,044** | 0,030           | 0,048**    | -          |
| SiO <sub>2</sub>               | 11,56         | 1,09         | 7,80          | 1,05    | 8,84            | 1,48       | 5066       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,02          | 0,82         | 5,34          | 0,50    | -               | 0,49       | 28,56      |
| CaO                            | 1,67          | 0,62         | 0,59          | 0,68    | -               | 51,46      | 9,05       |
| MgO                            | 1,46          | 6,31         | 0,49          | 0,23    | -               | 3,46       | 7,60       |
| FeO                            | 14,27         | 23,78        | 19,77         | 27,25   | -               | -          | -          |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 67,37         | 65,38        | 62,74         | 69,69   | -               | 0,56       | -          |
| SO <sub>3</sub>                | -             | -            | -             | 0,109   | -               | 0,119      | -          |
| FeS <sub>2</sub>               | 0,04          | 0,077        | 0,039         | -       | -               | -          | -          |
| MnO                            | 0,14          | 1,32         | 0,32          | 0,33    | -               | -          | -          |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,10          | 0,42         | 1,72          | 0,15    | -               | 0,158      | 0,55       |
| П.п.п.                         | 0,36          | 0,20         | 1,22          | -       | -               | 42,26      | -          |
| C                              | -             | -            | -             | -       | 0,20            | -          | -          |
| Сумма                          | 100           | 100          | 100           | 100     | 100             | 100        | 100        |

Примечания:  
 1 \*Сверх 100%;  
 2 \*\* При подсчете суммы исключается из числа слагаемых, так как учитывается в виде соединения

### 2.3 Определение состава рудной смеси

Исходя из заданных относительных количеств материалов в рудной смеси, определяется ее средневзвешенный состав.

Средневзвешенное содержание в рудной смеси, например FeO, определяется по уравнению:

$$\text{FeO} = 0,01 \cdot (\text{FeO}_p \cdot P + \text{FeO}_{k1} \cdot K1 + \text{FeO}_{k2} \cdot K2 + \text{FeO}_o \cdot O), \quad (9)$$

где P, K1, K2, O – количество в рудной смеси руды, концентрата 1, концентрата 2 и окалины, соответственно, %;

FeO<sub>p</sub>, FeO<sub>k1</sub>, FeO<sub>k2</sub>, FeO<sub>o</sub> – содержание FeO в руде, концентрате 1, концентрате 2 и окалине, соответственно, %.

Тогда:

$$\text{FeO} = 0,01 \cdot (14,27 \cdot 12,0 + 23,78 \cdot 45,0 + 19,77 \cdot 38,50 + 27,25 \cdot 4,5) = 21,25\%.$$

Аналогичным образом рассчитываются средневзвешенные содержания в рудной смеси и других компонентов. Для рассматриваемого примера средневзвешенный состав рудной смеси приведен в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Средневзвешенный состав рудной смеси, %:

|                |                                |                  |                 |       |                               |                                |        |        |
|----------------|--------------------------------|------------------|-----------------|-------|-------------------------------|--------------------------------|--------|--------|
| W <sup>P</sup> | Fe                             | Mn               | P               | S     | SiO <sub>2</sub>              | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO    | MgO    |
| 3,1            | 61,82                          | 0,580            | 0,379           | 0,031 | 4,93                          | 2,81                           | 0,74   | 3,22   |
| FeO            | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeS <sub>2</sub> | SO <sub>3</sub> | MnO   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | C                              | П.п.п. | Σ      |
| 21,25          | 64,79                          | 0,054            | 0,005           | 0,75  | 0,87                          | 0,00                           | 0,6    | 100,00 |

## 2.4 Определение расхода материалов на выплавку 1 т чугуна

Для определения расхода материалов составляют и решают систему уравнений материального баланса, число которых равно количеству подлежащих выполнению условий. Этими условиями могут быть массы железа и марганца в чугуне, основность шлака и содержание в нем MgO и др. Количество условий зависит от соотношения между компонентами агломерационной шихты, которое обеспечит получение агломерата заданного качества

В рассматриваемом примере удобно воспользоваться балансовыми уравнениями по железу и основности доменного шлака.

В этом случае уравнения будут иметь следующий вид:

а) по железу

$$\frac{Fe_p}{100} \cdot P + \frac{Fe_{И}}{100} \cdot И + Fe_{изв} = \frac{Fe_r}{100 \cdot \eta_{Fe}} \cdot 1000; \quad (10)$$

б) по основности шлака CaO : SiO<sub>2</sub>

$$\frac{CaO_p \cdot P + CaO_{И} \cdot И + CaO_{изв} \cdot 100}{SiO_{2p} \cdot P + SiO_{2И} \cdot И + (SiO_{2изв} - SiO_{2r}) \cdot 100} = B \quad (11)$$

где B - основность шлака по отношению CaO : SiO<sub>2</sub>;

P, И – расходы соответственно рудной смеси и известняка, кг; (символ элемента или окисла перед расходом материала – содержание данного элемента или окисла в материале, %);

Fe<sub>r</sub> - принятое содержание железа в чугуне, %;

Fe<sub>изв</sub> - масса железа, вносимого материалами, расход которых известен (зола кокса, металлдобавки и т.д.), кг;

η<sub>Fe</sub> - коэффициент использования железа, доли ед.;

SiO<sub>2изв</sub>, CaO<sub>изв</sub> - массы соответственно кремнезема и окиси кальция, вносимые материалами, расход которых известен, кг;

SiO<sub>2r</sub> - масса кремнезема, расходуемая на восстановление кремния в чугуне, кг.

1) Для составления баланса по железу необходимо вычислить количество железа, вносимого в чугун сырыми материалами, расход которых известен, и задаться ориентировочным содержанием железа в чугуне.

Определяется количество золы (З), вносимое коксом на 1 т чугуна:

$$З = K_w \cdot \frac{(100 - W^p)}{100} \cdot \frac{A^c}{100}, \quad (11)$$

где  $K_w$  – расход влажного кокса, кг (задано по условию);

$W^p$  – содержание влаги в коксе, % (см. таблицу 2.2);

$A^c$  – содержание золы в коксе, %.

$$\text{Тогда, } З = 436 \cdot \frac{(100 - 2,6)}{100} \cdot \frac{14,00}{100} = 59,45 \text{ кг.}$$

$$\text{С золой кокса поступает железа } 59,45 \cdot \frac{3,59}{100} = 2,13 \text{ кг,}$$

где 3,59 – содержание железа в золе кокса, %.

$$\text{Металлодобавки вносят железа } 6 \cdot \frac{90,5}{100} = 5,43 \text{ кг,}$$

где 6 – расход металлодобавок на 1000 кг чугуна, кг (задано по условию);

90,5 – содержание железа в металлодобавках, %.

Всего зола кокса и металлодобавки вносят железа:  $2,13 + 5,43 = 7,56$  кг.

Принимается содержание железа в чугуне равное 93%.

Коэффициент использования железа  $\eta_{Fe}$  при выплавке пердедельных чугунов находится в пределах 0,9990–0,9920. Принимается  $\eta_{Fe} = 0,998$ , т.е. допускается потеря железа со шлаком в количестве 0,002 от содержания его в шихте.

В итоге уравнение по железу будет иметь вид:

$$\frac{61,82}{100} \cdot P + \frac{0,39}{100} \cdot И + 7,56 = \frac{93}{100 \cdot 0,998} \cdot 1000 = 931,86. \quad (12)$$

2) При составлении балансового уравнения по основности шлака необходимо задаться величиной основности шлака.

Основность шлака определяет одно из главных его свойств – обессеривающую способность, от которой зависит чистота чугуна по содержанию в нем серы.

Основность шлака ориентировочно принимают по содержанию серы в коксе, так как он вносит наибольшее количество серы в доменную плавку. При содержании серы в коксе 0,4-0,65 и 1,7-1,8% основность шлака по отношению  $CaO : SiO_2$  можно принимать в пределах соответственно 0,85-1,15 и 1,17-1,30.

По содержанию серы в коксе 0,52% (см. таблицу 2.2) принимается основность шлака  $CaO : SiO_2 = 1,10$ .

Определяются предварительные количества кремнезема и окиси кальция, вносимые золой кокса и металлодобавками, а также количество кремнезема, расходуемое на восстановление кремния чугуна.

Зола кокса и металлодобавки вносят, кг:

$$\text{а) кремнезема } \text{SiO}_{2\text{изв}} = \frac{50,66}{100} \cdot 59,45 + \frac{8,84}{100} \cdot 6 = 30,65 \text{ кг};$$

$$\text{б) оксида кальция } \text{CaO}_{\text{изв}} = \frac{9,05}{100} \cdot 59,45 = 5,38 \text{ кг},$$

где 59,45 и 6 – массы соответственно золы кокса (см. выше) и металлодобавок (по заданию).

На восстановление кремния чугуна расходуется кремнезема:

$$\text{SiO}_{2\text{г}} = \frac{[\text{Si}]_{\text{ч}}}{100} \cdot \frac{M_{\text{SiO}_2}}{M_{\text{Si}}} \cdot 1000, \quad (13)$$

где  $[\text{Si}]_{\text{ч}}$  - содержание кремния в чугуне (принимается самостоятельно), %;

$M_{\text{SiO}_2}$  - атомная масса  $\text{SiO}_2$ , кг;

$M_{\text{Si}}$  - атомная масса кремния, кг.

$$\text{Тогда } \text{SiO}_{2\text{г}} = \frac{2,3}{100} \cdot \frac{60}{28} \cdot 1000 = 49,29 \text{ кг}.$$

В этом случае балансовое уравнение по основности шлака (11) будет иметь вид:

$$\frac{0,74 \cdot P + 51,46 \cdot И + 5,38 \cdot 100}{4,93 \cdot P + 1,48 \cdot И + (30,65 - 49,29) \cdot 100} = 1,10. \quad (14)$$

Решение системы балансовых уравнений по железу и основности шлака дает расход на 1 т чугуна:

- рудной смеси  $P = 1488,44$  кг,

- известняка  $И = 87,85$  кг.

Проверяется правильность решения системы уравнений подстановкой в них найденных значений  $P$ ,  $И$ :

а) по железу

$$\frac{61,82}{100} \cdot 1488,44 + \frac{0,39}{100} \cdot 87,85 + 7,56 = 929,756 \text{ кг}.$$

Так как полученное значение отличается от результата уравнения (12), то необходимо определить погрешность вычисления:

$$\frac{931,86 - 929,756}{931,86} \cdot 100 = 0,23 \text{ \%}.$$

Погрешность находится в допустимых пределах (0,5%), что свидетельствует о правильности выполненных расчетов;

б) по основности шлака



$$\frac{0,74 \cdot 1488,44 + 51,46 \cdot 87,85 + 5,38 \cdot 100}{4,93 \cdot 1488,44 + 1,48 \cdot 87,85 + (-18,640) \cdot 100} = 1,099.$$

По аналогии проводится определение погрешности вычисления в сравнении с уравнением (14):

$$\frac{1,10 - 1,099}{1,10} \cdot 100 = 0,09 \%$$

Таким образом, расход рудной смеси и известняка на выплавку 1 т чугуна определен правильно (с учетом погрешности вычислений).

## **2.5 Расчет агломерационной шихты, определение состава агломерата**

Современная практика производства чугуна идет в направлении уменьшения числа компонентов доменной шихты, что обеспечивается широким развитием агломерации железорудных концентратов и различного рода добавок, используемых в доменной плавке.

Предполагается вести доменную плавку на шихте только из агломерата и кокса; поэтому вся ранее рассчитанная рудная смесь и известняк подвергаются агломерации.

Кроме этих материалов в агломерационную шихту войдут:

- коксик, как основной источник тепла в агломерационном процессе,
- вода, как средство окомкования шихты и получения ее хорошей газопроницаемости.
- небольшое дополнительное количество флюса для ошлакования золы коксика.

Содержание в аглошихте углерода и ее влажность задается, исходя из практических данных в зависимости от минералогического типа спекаемых руд. Углерода в сухой шихте содержится при спекании магнетитовых руд 3,5-4,5, гематитовых 4,5-5,0, бурых железняков 6,0-8,0%.

Магнетитовые руды агломерируются при меньшем расходе твердого топлива, так как при их спекании выделяется дополнительное тепло за счет окисления серы и повышения степени окисленности железа.

Оптимальная влажность шихты составляет при спекании магнетитовых руд 6-8, гематитовых 8-10, бурых железняков 14-18%.

### **2.5.1 Определение расхода коксика**

Вследствие того, что в рассматриваемом примере спекаются магнетитовые концентраты, принимается: содержание углерода в сухой шихте 3,5%, влажность шихты 7,0%.

Ранее был определен расход известняка (87,85 кг) на ошлакование пустой породы рудной смеси и золы кокса доменной шихты. Этот же флюс будет использоваться для ошлакования пустой породы золы коксика, применяемого в качестве топлива при агломерации.

Состав золы коксика принимается таким же, как у кокса доменной шихты (см. таблицу 2.1). Содержание золы в коксике на 1-2% больше содержания ее в металлургическом коксе. Количество углерода в коксике уменьшается в соответствии с увеличением в нем золы.

Принимается содержание золы в коксике 15%. Отсюда нелетучего углерода в коксике будет:  $83,11 - (15,00 - 14,00) = 82,11\%$  (см. таблицу 2.2).

Влажность коксика составляет 10-25%. Принимается содержание влаги в коксике 18%.

Расчет агломерационной шихты без влаги и возврата ведется, исходя из 100 кг сухой рудной смеси.

На 1488,44 кг рудной смеси в доменной плавке расходуется, как было определено ранее, 87,85 кг флюса.

Отсюда в аглошихте на 100 кг рудной смеси расход флюса составит:

$$\Phi = \frac{И}{Р} \cdot 100 = \frac{87,85}{1488,44} \cdot 100 = 5,9 \text{ кг.}$$

Для офлюсования золы коксика агломерационного процесса требуется ввести дополнительное количество флюса.

Флюсующая способность флюса  $\Phi_{\phi}$  (%) определяется по уравнению:

$$\Phi_{\phi} = CaO_{\phi} - B SiO_{2\phi}, \quad (15)$$

где  $CaO_{\phi}$  и  $SiO_2$  – содержание соответственно CaO и  $SiO_2$  во флюсе, %;

B – основность шлака CaO /  $SiO_2$ , доли ед.

Подставляя в уравнение соответствующие значения, получается:

$$\Phi_{\phi} = 51,46 - 1,10 \cdot 1,48 = 49,83\%.$$

Количество флюса  $\Phi_K$  (кг), потребное на офлюсование золы 1 кг коксика, рассчитывается по уравнению:

$$\Phi_K = \frac{A}{100} \cdot \frac{SiO_2 \cdot B - CaO}{\Phi_{\phi}} \quad (16)$$

где A – содержание золы в коксике, %;

$SiO_2$ , CaO – содержание соответственно  $SiO_2$  и CaO в золе коксика, %;

B – основность шлака, доли ед.

На офлюсование золы 1 кг коксика требуется флюса:

$$\Phi_K = \frac{15}{100} \cdot \frac{50,66 \cdot 1,10 - 9,05}{49,83} = 0,149 \text{ кг.}$$

Расход коксика K (кг) определяется по уравнению:

$$K = \frac{C_{ш} \cdot (P + \Phi) - C_P \cdot P}{C_K - C_{ш} \cdot (1 + \Phi_K)}, \quad (17)$$

где  $C_k$ ,  $C_{ш}$  и  $C_p$  – содержание углерода соответственно в коксике, аглошихте и рудной смеси (за счет колошниковой пыли), %;

$\Phi_k$  – количество флюса, потребное на ошлакование золы 1 кг коксика, кг;

$P$ ,  $\Phi$  – расход в шихту соответственно рудной смеси и флюса, кг;

Подставляя в уравнение значения соответствующих величин, получается:

$$K = \frac{3,5 \cdot (100 + 5,9) - 0}{82,11 - 3,5 \cdot (1 + 0,149)} = 4,75 \text{ кг.}$$

На офлюсование золы коксика потребуется дополнительное количество флюса:

$$\Phi_k \cdot K = 0,149 \cdot 4,75 = 0,71 \text{ кг.}$$

Общий расход флюса на офлюсование пустой породы рудной смеси и золы составит  $5,9 + 0,71 = 6,61$  кг.

На основе результатов выполненных расчетов определяется состав сухой шихты (таблица 2.6).

Таблица 2.6 - Состав сухой шихты

| Компоненты   | Содержание |       |
|--------------|------------|-------|
|              | кг         | %     |
| Рудная смесь | 100        | 90,00 |
| Флюс         | 6,61       | 5,77  |
| Коксик       | 4,75       | 4,27  |
| Итого        | 111,36     | 100   |

Правильность расчета коксика в шихту проверяется по процентному содержанию углерода в шихте, которое должно соответствовать принятому - 3,5%. Содержание углерода в сухой шихте  $C_{ш}$  (%) определяется по уравнению:

$$C_{ш} = (P_{ш}C_p + K_{ш}C_k) / 100, \quad (18)$$

где  $P_{ш}$  и  $P_k$  - содержание в сухой шихте (см. таблицу 2.6) соответственно рудной смеси и коксика, %.

Содержание углерода в шихте составит:

$$C_{ш} = (4,27 \cdot 82,11) / 100 = 3,5\%.$$

Отсюда следует, что расход коксика в шихту определен правильно.

### 2.5.2 Определение состава агломерата

Для определения химического состава агломерата составляется балансовая таблица 2.7 на 100 кг сухой шихты, при составлении которой необходимо иметь в виду, что сумма всех компонентов химического состава материала должна быть равна его сухой массе (отклонения допускаются в пределах  $\pm 0,1\%$ ).

Составление таблицы 2.7:

Графа «Переходит в агломерат, кг» заполняется на основе данных графы «Всего шихтой вносится, кг». При этом учитываются некоторые практические данные производству агломерата.

Работа агломерационных фабрик показывает, что в агломерат переходит 0,5-5% углерода и 3-10% (при спекании сернистых магнетитовых руд) или 30-50% (при спекании малосернистых руд) серы от их количества в шихте.

Принимается для рассматриваемого примера количество углерода, переходящее в агломерат, 0,8% и серы 40%.

Таким образом, в агломерат перейдет:

-углерода  $3,51 \cdot 0,8/100 = 0,03$  кг;

-серы  $0,051 \cdot 40/100 = 0,020$  кг.

Условно полагается, что вся сера в офлюсованном агломерате связана в серный ангидрит  $SO_3$  и находится в агломерате в виде  $CaSO_4$ . Тогда в агломерате содержится  $SO_3$ :  $0,020 \cdot 80/32 = 0,05$  кг.

Количество  $FeO$  и  $Fe_2O_3$  в агломерате не сохраняется таким, каким оно было в рудах до спекания. Агломерат из магнетитовых руд, например, имеет меньшее содержание  $FeO$  по сравнению с рудной, из гематитовых – большее.

Степень окисления агломерата применительно к выполняемым расчетам удобно характеризовать отношением  $Fe_{общ} : Fe^{2+}$ , которое для агломерата из магнетитовых руд находится в пределах 4,0-6,0; гематитовых 5,0-8,0; бурых железняков 3,0-4,0. Это отношение не остается постоянным, а изменяется в зависимости от содержания углерода в шихте, богатства агломерата, скорости спекания и т.д.

По практическим данным содержание закиси железа в агломерате из магнетитовых руд составляет 12-18, гематитовых 8-12, бурых железняков 17-22% [1].

В рассматриваемом случае спекаются магнетитовые руды, поэтому отношение  $Fe_{общ} : Fe^{2+}$  принимается равным 6,0.

В агломерате будет железа:

- двухвалентного  $Fe^{2+}$ :  $55,68/6,0 = 9,28$  кг;

- трехвалентного  $Fe^{3+}$ :  $Fe_{общ} - Fe^{2+} = 55,68 - 9,28 = 46,4$  кг.

В агломерате содержится:

-  $FeO$ :  $9,28 \cdot 72/56 = 11,93$  кг;

-  $Fe_2O_3$ :  $46,4 \cdot 160/112 = 66,28$  кг.

Таблица 2.7 - Количество твердых материалов, поступающих на спекание, и компонентов, переходящих в агломерат и газ, кг

| Компоненты                     | Рудная смесь** | Флюс**       | Расход сухого |              |              | Коксик** | Всего шихтой вносится | Переходит в агломерат | Состав агломерата, % | Переходит в газ |
|--------------------------------|----------------|--------------|---------------|--------------|--------------|----------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|
|                                |                |              | Зола кокса**  | Зола кокса** |              |          |                       |                       |                      |                 |
|                                |                |              |               | Зола кокса** | Зола кокса** |          |                       |                       |                      |                 |
|                                | 90             | 5,77         | 0,64          | 4,27         |              |          |                       |                       |                      |                 |
| Fe                             | 61,82/55,64*   | 0,39/0,02*   | 3,59/0,023    | -            | -            | 55,68    | 55,68*                | 59,1*                 | -                    |                 |
| Mn                             | 0,58/0,52*     | -            | -             | -            | -            | 0,52     | 0,52*                 | 0,55*                 | -                    |                 |
| P                              | 0,379/0,341*   | 0,068/0,004* | 0,24/0,0015*  | -            | -            | 0,35     | 0,35*                 | 0,37*                 | -                    |                 |
| S                              | 0,031/0,028*   | 0,048/0,003* | -             | 0,52/0,020   | -            | 0,051    | 0,020*                | 0,021*                | 0,031                |                 |
| C                              | -              | -            | -             | 82,11/3,51   | -            | 3,51     | 0,03                  | 0,031                 | 3,48                 |                 |
| SiO <sub>2</sub>               | 4,93/4,44      | 1,48/0,09    | 50,66/0,32    | -            | -            | 4,85     | 4,85                  | 5,47                  | -                    |                 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2,81/2,53      | 0,49/0,03    | 28,56/0,18    | -            | -            | 2,74     | 2,74                  | 2,92                  | -                    |                 |
| CaO                            | 0,74/0,67      | 51,46/2,97   | 9,05/0,06     | -            | -            | 3,7      | 3,7                   | 3,93                  | -                    |                 |
| MgO                            | 3,22/2,89      | 3,46/0,20    | 7,6/0,05      | -            | -            | 3,14     | 3,14                  | 3,33                  | -                    |                 |
| FeO                            | 21,25/19,13    | -            | -             | -            | -            | 19,13    | 11,93                 | 12,66                 | -                    |                 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 64,79/58,31    | 0,56/0,03    | -             | -            | -            | 58,34    | 66,28                 | 70,35                 | -                    |                 |
| FeS <sub>2</sub>               | 0,054/0,049    | -            | -             | -            | -            | 0,049    | -                     | -                     | -                    |                 |
| SO <sub>3</sub>                | 0,005/0,0045   | 0,119/0,007  | -             | -            | -            | 0,012    | 0,05                  | 0,051                 | -                    |                 |
| MnO                            | 0,75/0,68      | -            | -             | -            | -            | 0,68     | 0,68                  | 0,72                  | -                    |                 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,87/0,78      | 0,158/0,009  | 0,55/0,004    | -            | -            | 0,793    | 0,793                 | 0,84                  | -                    |                 |
| П.п.п                          | 0,6/0,54       | 42,26/2,44   | -             | 2,48***/0,11 | -            | 3,09     | -                     | -                     | 3,09                 |                 |
| Итого                          | - /90,02       | - /5,776     | - /0,637      | - /3,64      | -            | 100      | 94,22                 | 100                   | 6,601                |                 |

\* При подчете «Итого» исключается из числа слагаемых, так как учитывается в виде соединений.

\*\* В числителе %, в знаменателе кг.

\*\*\*Сумма содержаний в коксе V<sup>c</sup>, N<sub>2</sub><sup>c</sup>

После заполнения балансовой таблицы 2.7 необходимо проверить правильность расчета шихты по содержанию в ней углерода и соответствие полученного в агломерате содержания FeO типу спекаемой руды:

1) в шихте содержится углерода  $3,51/100 \cdot 100 = 3,51\%$ , что соответствует принятому в расчете значению.

2) в агломерате находится 12,66% FeO (см. графу «Состав агломерата, %» таблицы 2.7), что согласуется с практическими данными при спекании магнетитовых руд.

### 2.5.3 Определение направленности процесса агломерации

Процесс агломерации в конечном итоге по отношению к железу может быть восстановительным и окислительным. В результате окислительного процесса количество кислорода, связанного в оксиды железа, повышается, а восстановительного - понижается.

При окислительном процессе появляется дополнительный источник тепла -повышение степени окисленности железа, при восстановительном – дополнительный потребитель тепла – диссоциация окислов железа.

С целью определения направленности процесса агломерации составляется баланс по железу и кислороду окислов железа, представленный в таблице 2.8. Баланс составляется на основании данных таблицы 2.7.

Таблица 2.8 - Баланс по железу и кислороду окислов железа, кг

| Соединение железа              | Содержится в шихте |       |                | Содержится в агломерате |       |                |
|--------------------------------|--------------------|-------|----------------|-------------------------|-------|----------------|
|                                | Соединения         | Fe    | O <sub>2</sub> | Соединения              | Fe    | O <sub>2</sub> |
| FeO                            | 19,13              | 14,87 | 4,25           | 11,93                   | 9,28  | 2,65           |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 58,34              | 40,84 | 17,50          | 66,28                   | 46,39 | 19,88          |
| FeS <sub>2</sub>               | 0,049              | 0,02  | -              | -                       | -     | -              |
| Fe*                            | 0,024              | 0,024 | -              | -                       | -     | -              |
| Итого                          | -                  | 55,75 | 21,75          | -                       | 55,68 | 22,53          |

Примечание - \* Из золы коксика

При составлении таблицы 2.8 необходимо иметь в виду, что количество железа в шихте и агломерате должно быть одинаковым, так как в процессе агломерации железо полностью переходит в агломерат, и соответствовать данным таблицы 2.7. Невязка баланса железа допускается не более  $\pm 0,1$  кг.

Содержание кислорода в окислах железа повысилось на  $22,53 - 21,75 = 0,78$  кг. Таким образом, по отношению к железу процесс является окислительным, и при спекании будет выделяться дополнительное тепло.

Определяется количество железа, участвующее в образовании Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:  
 $46,39 - 40,84 = 5,6$  кг.

Из них:

а) по реакции  $4\text{FeO} + \text{O}_2 = 2 \text{Fe}_2\text{O}_3$   $14,87 - 9,28 = 5,59$  кг;

б) по реакции  $4\text{Fe} + 3\text{O}_2 = 2 \text{Fe}_2\text{O}_3$   $5,6 - 5,59 = 0,01$  кг.

## 2.5.4 Определение состава увлажненной шихты с возвратом на 100 кг сухой шихты без возврата

Возврат является обратным продуктом агломерационного производства и представляет собой мелкий плохо спеченный агломерат, непригодный для проплавки в доменной печи.

Присутствие возврата в шихте требует дополнительного расхода коксика на его расплавление и флюса на ошлакование вносимой этим коксиком золы.

Содержание возврата в сухой шихте на агломерационных фабриках в настоящее время составляет 25-35%.

Для расчета принимается содержание возврата в сухой шихте 30,0%.

Потребное количество возврата  $V_z$  (кг) на 100 кг сухой шихты без возврата определяется по уравнению:

$$V_z = P_v \cdot 100/100 - P_v [1+(\Delta K+\Delta \Phi)], \quad (19)$$

где  $P_v$  – принятое содержание возврата в сухой шихте, %;

$\Delta K$ ,  $\Delta \Phi$  – дополнительное количество соответственно коксика и флюса, вводимое в шихту на 1 кг возврата, кг.

Дополнительное количество коксика  $\Delta K$  (кг) на 1 кг возврата рассчитывается по уравнению:

$$\Delta K = \frac{C_{Ш} - C_a}{C_K - C_{Ш} \cdot (1 + \Phi_K)}, \quad (20)$$

где  $C_K$  – содержание нелетучего углерода в коксике, %;

$C_a$  – содержание углерода в возврате, %;

$C_{Ш}$  – принятое содержание углерода в шихте, %;

$\Phi_K$  – расход флюса на ошлакование золы 1 кг коксика, кг.

Содержание углерода в возврате с целью упрощения расчета условно принимается равным его содержанию в агломерате по таблице 2.5.

Расход флюса на ошлакование золы 1кг коксика определен ранее по уравнению (16)  $\Phi_K = 0,149$  кг.

Подставив в уравнение (20) значения известных величин, получается:

$$\Delta K = \frac{3,5 - 0,031}{82,11 - 3,5 \cdot (1 + 0,149)} = 0,044 \text{ кг.}$$

Дополнительное количество флюса  $\Delta \Phi$  на 1 кг возврата составит:

$$\Delta \Phi = \Delta K \cdot \Phi_K = 0,044 \cdot 0,149 = 0,007 \text{ кг.}$$

Расход возврата на 100 кг сухой шихты без возврата по уравнению составит:

$$V_z = 30 \cdot 100 / (100 - 30[1 + (0,044 + 0,007)]) = 43,81 \text{ кг.}$$

Проверка соответствия полученного расхода возврата принятому содержанию его в шихте производится по уравнению:

$$П_{в} = \frac{В}{100 + В \cdot (1 + \Delta K + \Delta \Phi)} \cdot 100. \quad (21)$$

Содержание возврата в сухой шихте составит:

$$П_{в} = \frac{43,81}{100 + 43,81 \cdot (1 + 0,044 + 0,007)} \cdot 100 = 30\%,$$

что соответствует принятому значению.

Дополнительные расходы в связи с введением в шихту возврата составят:

- коксика  $Вз \cdot \Delta K = 43,81 \cdot 0,044 = 1,93$  кг;

- флюса  $Вз \cdot \Delta \Phi = 43,81 \cdot 0,007 = 0,31$  кг.

Содержится в сухой шихте с возвратом:

- коксика  $4,27 + 1,93 = 6,2$  кг;

- флюса  $5,77 + 0,31 = 6,08$  кг.

Количество и состав сухой и увлажненной шихты с возвратом представлены в таблице 2.9, которая составляется по данным таблицы 2.6 с учетом дополнительных расходов коксика и флюса.

Таблица 2.9 - Количество и состав сухой и увлажненной шихты с возвратом на 100 кг сухой шихты без возврата

| Расход материалов   | Материал     |      |        |         |                    |        |
|---|--------------|------|--------|---------|--------------------|--------|
|   | Рудная смесь | Флюс | Коксик | Возврат | Вода на увлажнение | Итого  |
| На 100 кг сухой шихты без возврата получается сухой шихты с возвратом, кг | 90,00        | 6,08 | 6,2    | 43,81   | -                  | 146,09 |
| %   | 61,61        | 4,16 | 4,24   | 29,99   | -                  | 100,00 |
| Расход влажных материалов на шихту с возвратом $W^p$ , %                  | 3,1          | 1,1  | 18,0   | 3,0     | -                  | -      |
| кг  | 92,88        | 6,15 | 7,56   | 45,16   | -                  | 151,75 |
| Материалы вносят влаги, кг  | 2,88         | 0,07 | 1,36   | 1,35    | -                  | 5,66   |
| Состав увлажненной шихты с возвратом, кг                                  | 92,88        | 6,15 | 7,56   | 45,16   | 5,32               | 157,10 |
| %   | 59,12        | 3,91 | 4,81   | 28,70   | 3,39               | 100,00 |

Расход влажного материала при известном расходе сухого определяется по уравнению:

$$P_{вл} = \frac{P_{сух}}{100 - W_p} \cdot 100, \quad (22)$$

где  $P_{вл}$  и  $P_{сух}$  – массы соответственно влажного и сухого материала, кг;



$W^p$  – влажность материала, %.

Расход, например, влажной рудной смеси составляет:

$$\frac{90,00}{100 - 3,1} \cdot 100 = 92,88 \text{ кг.}$$

Масса увлажненной шихты с возвратом при принятом ранее содержания в ней влаги 7,0% составит  $\frac{146,09}{100 - 7} \cdot 100 = 157,1 \text{ кг.}$

В шихте содержится гигроскопической влаги  $157,1 - 146,09 = 11,01 \text{ кг.}$

Расход воды на увлажнение шихты определяется по разности между необходимым содержанием влаги в шихте и массой ее, вносимой материалами:  $11,01 - 5,66 = 5,32 \text{ кг.}$

### 2.5.5 Уточнение состава агломерата

Вследствие дополнительных количеств золы коксика и флюса, вносимых в шихту совместно с возвратом, состав агломерата, спеченного из шихты с возвратом, будет отличаться от состава, полученного в балансовой таблице 2.7. Поэтому необходимо пересчитать ранее полученный состав агломерата с учетом всех компонентов, вносимых в агломерат дополнительным коксиком и флюсом.

Количество компонентов, вносимое в агломерат этими материалами, представлено в таблице 2.10.

Таблица 2.10 - Количество компонентов, вносимых в агломерат дополнительным расходом коксика и флюса, кг

| Компонент                      | Флюс**        | Зола коксика** | Коксик**   | Всего материалами вносится, кг | Переход компонентов |       |
|--------------------------------|---------------|----------------|------------|--------------------------------|---------------------|-------|
|                                | Расход сухого |                |            |                                | в агломерат         | в газ |
|                                | 0,31          | 0,290          | 1,93       |                                |                     |       |
| Fe                             | 0,39/0,001*   | 3,81/0,011*    | -          | 0,012*                         | 0,012*              | -     |
| Mn                             | -             | -              | -          | -                              | -                   | -     |
| P                              | 0,068/следы   | 0,25/0,001*    | -          | 0,001*                         | 0,001*              | -     |
| S                              | 0,048/следы   | -              | 0,52/0,01  | 0,01*                          | 0,004*              | 0,006 |
| C                              | -             | -              | 82,11/1,58 | 1,58                           | 0,013               | 1,567 |
| SiO <sub>2</sub>               | 1,48/0,005    | 53,69/0,155    | -          | 0,16                           | 0,16                | -     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,49/0,002    | 30,27/0,088    | -          | 0,09                           | 0,09                | -     |
| CaO                            | 51,46/0,16    | 9,59/0,028     | -          | 0,188                          | 0,188               | -     |
| MgO                            | 3,46/0,01     | 8,05/0,02      | -          | 0,03                           | 0,03                | -     |
| FeO                            | -             | -              | -          | -                              | 0,003               | -     |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,56/0,002    | -              | -          | 0,002                          | 0,014               | -     |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,158/следы   | 0,581/0,002    | -          | 0,002                          | 0,002               | -     |
| SO <sub>3</sub>                | 0,119/следы   | -              | -          | следы                          | 0,01                | -     |
| П.п.п                          | 42,26/0,13    | -              | 2,48/0,05  | 0,18                           | -                   | 0,18  |
| Итого                          | - /0,309      | -/0,30         | -/1,64     | 2,232                          | 0,51                | 1,753 |

Примечания:

\* При подсчете «Итого» исключается из числа слагаемых, так как учитывается в виде соединений.

При подсчете «Итого» графы «Всего материалами вносится, кг» S и Fe, содержащиеся в коксике и его золе, включается в число слагаемых;

\*\* В числителе %, в знаменателе кг.

При составлении таблицы 2.10 количества серы и углерода, переходящие в агломерат из дополнительных коксика и флюса, подсчитываются на основании ранее принятого перехода в агломерат серы 40% и углерода 0,8%.

Предполагается, что железо флюса и золы коксика переходит в агломерат в виде окислов, при этом отношение  $Fe_{\text{общ}} : Fe^{2+}$  будет равно ранее принятой величине (6,0), а сера, переходящая в агломерат из этих материалов, образует  $SO_3$ .

Пересчитанный состав агломерата с учетом данных таблицы 2.10 представлен в таблице 2.11.

Таблица 2.11 - Количество компонентов, переходящих в агломерат, с учетом содержания возврата в шихте

| Компонент                      | Агломерат + возврат |        | Дополнительный коксик и флюс | Всего материалами вносится в агломерат, кг | Состав агломерата, % |
|--------------------------------|---------------------|--------|------------------------------|--|----------------------|
|                                | Расход сухого, кг   |        |                              |  |                      |
|                                | 133,34              |        | 2,14                         |  |                      |
|                                | %                   | кг     | кг                           |  |                      |
| Fe                             | 59,1                | 81,58* | 0,012*                       | 81,59*                                     | 58,91*               |
| Mn                             | 0,55                | 0,76*  | -                            | 0,76*                                      | 0,55*                |
| P                              | 0,37                | 0,141* | 0,001*                       | 0,142*                                     | 0,10*                |
| S                              | 0,021               | 0,029* | 0,004*                       | 0,033*                                     | 0,24*                |
| C                              | 0,031               | 0,043  | 0,013                        | 0,056                                      | 0,04                 |
| SiO <sub>2</sub>               | 5,17                | 7,14   | 0,16                         | 7,3  | 5,27                 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2,92                | 4,03   | 0,09                         | 4,12                                       | 2,97                 |
| CaO                            | 3,93                | 5,42   | 0,188                        | 5,608                                      | 4,05                 |
| MgO                            | 3,33                | 4,60   | 0,03                         | 4,63                                       | 3,34                 |
| FeO                            | 12,66               | 17,47  | 0,003                        | 17,47                                      | 12,6                 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 70,35               | 97,10  | 0,014                        | 97,11                                      | 70,12                |
| MnO                            | 0,72                | 1,00   | -                            | 1,00                                       | 0,72                 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,84                | 1,12   | 0,002                        | 1,12                                       | 0,81                 |
| SO <sub>3</sub>                | 0,051               | 0,07   | 0,01                         | 0,08                                       | 0,06                 |
| Итого                          | -                   | 137,99 | 0,51                         | 138,5                                      | 100,00               |

Примечание - \* При подсчете «Итого» исключается из числа слагаемых, так как учитывается в виде соединений

В агломерате будет железа:

-двухвалентного  $Fe^{2+}$   $0,012/6,0 = 0,002$  кг;

-трехвалентного  $Fe^{3+} = Fe_{\text{общ}} - Fe^{2+} = 0,012 - 0,002 = 0,01$ кг.

В агломерате содержится:

- FeO  $0,002 \cdot 72/56 = 0,003$  кг;

- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  $0,01 \cdot 160/112 = 0,014$  кг.

В агломерат перейдет:

- углерода  $1,58 \cdot 0,8/100 = 0,013$  кг;

- серы  $0,01 \cdot 40/100 = 0,004$  кг.

В агломерате содержится SO<sub>3</sub>  $0,04 \cdot 80/52 = 0,01$  кг.

При составлении таблицы 2.11 расход сухого (кг) в графе «Агломерат + возврат» подсчитывается суммированием количества агломерата, получающегося из 100 кг сухой шихты без возврата (94,22кг, см. таблицу 2.7) с

количеством возврата, вводимого на 100 кг сухой шихты без возврата (43,81 кг, см. таблицу 2.9). При этом химический состав возврата принимается таким же, как и агломерата, по таблице 2.7.

Основность агломерата  $\text{CaO} : \text{SiO}_2 = 4,05 : 5,27 = 0,80$ .

Согласно таблицам 2.9 и 2.11 из 146,09 кг сухой шихты с возвратом получается 138,5 кг агломерата.

Относительный выход агломерата составит:

а) из сухой шихты с возвратом

$$\frac{138,5}{146,09} \cdot 100 = 94,80\% \text{ или } 0,948;$$

б) из увлажненной шихты с возвратом:

$$\frac{138,5}{157,1} \cdot 100 = 88,16\% \text{ или } 0,882.$$

Принимается - сколько в шихту вводится возврата, столько его и получается.

Относительный выход из аглоспека:

а) возврата  $\frac{43,81}{138,5} \cdot 100 = 31,63\% \text{ или } 0,316$ .

б) годного агломерата  $100 - 31,63 = 68,37\% \text{ или } 0,684$ .

Относительный выход годного агломерата от массы шихты:

- сухой  $94,80 \cdot 68,37/100 = 64,81\% \text{ или } 0,648$ ;

- влажной  $88,16 \cdot 68,37/100 = 60,27\% \text{ или } 0,603$ .

Расход воды на увлажнение шихты:  $5,32/138,5 = 0,04 \text{ кг/кг агломерата}$ .

## 2.6 Расчеты горения в агломерационном процессе

### 2.6.1 Расчеты горения газа для зажигания шихты

Для зажигания шихты главным образом используют доменный, коксовый и природный газ. Когда агломерационная фабрика расположена на площадке металлургического завода или вблизи нее, чаще используют смесь доменного и коксового газов.

Соотношение газов в смеси определяется из расчета получения газа с теплотворной способностью 10500-15000 кДж/м<sup>3</sup>.

Принимается теплотворная способность газовой смеси 12600 кДж/м<sup>3</sup>.

Состав смеси доменного и коксового газов для расчета (общий для всех вариантов) представлен в таблице 2.12.

Таблица 2.12 - Средневзвешенный состав газовой смеси, %

| CO <sub>2</sub> | CO    | CH <sub>4</sub> | H <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | Σ   |
|-----------------|-------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----|
| 6,74            | 11,67 | 17,09           | 44,71          | 0,59           | 19,20          | 100 |

Для определения массы газовой смеси по ее объему в последующих расчетах необходимо знание ее плотности, кг/м<sup>3</sup>:

$$\gamma_{\text{см}} = 1/22,4 \cdot 100 \sum K_i M_i, \quad (23)$$

где 22,4 – объем килограмм-молекулы газа, м<sup>3</sup>;

$K_i M_i$  – соответственно содержание  $i$ -го компонента в смеси (%) и его молекулярная масса (кг).

Плотность газовой смеси:

$$\gamma_{\text{см}} = (1/22,4) \cdot 100 \cdot (6,74 + 11,67 \cdot 28 + 17,09 \cdot 16 + 44,71 \cdot 2 + 0,59 \cdot 32 + 19,20 \cdot 28) = 0,689 \text{ кг/м}^3.$$

### Определение расхода газа на зажигание шихты

Расход газа на зажигание шихты определяется по потребности в тепле на него и теплотворной способности газовой смеси. Расход тепла на зажигание зависит от минералогического типа спекаемой руды, крупности компонентов шихты, ее влажности, содержания в ней флюса, интенсивности процесса спекания, высоты спекаемого слоя, конструкции зажигательного горна и изменяется в широких пределах от 17000 до 50000 кДж на 100 кг аглоспека.

Принимается расход тепла на зажигание 21000 кДж на 100 кг аглоспека. Расход газа на зажигание при этом составит:

$$21000/12600 = 1,66 \text{ м}^3/100 \text{ кг аглоспека или } 1,66 \cdot 0,689 = 1,144 \text{ кг/100 кг аглоспека.}$$

Расход газа на 100 кг сухой шихты с возвратом составит:

$$1,66 \cdot 0,94 = 1,57 \text{ м}^3 \text{ или } 1,144 \cdot 0,94 = 1,085 \text{ кг,}$$

где 0,94 – относительный выход агломерата из сухой шихты с возвратом.

При зажигании используется атмосферный воздух естественной влажности, который подается в горелки зажигательного горна специальным вентилятором. Принимается, что в воздухе содержится, %: O<sub>2</sub> - 20,8; H<sub>2</sub>O<sub>пар</sub> - 1,0 и N<sub>2</sub> - 78,2.

Температура зажигания на отечественных агломерационных фабриках составляет 1150-1300 °С. В большинстве случаев она выше 1200 °С.

Принимается температура зажигания  $t_3$  равная 1250 °С.

При зажигании необходимо создавать условия для горения топлива шихты за счет окисления его кислородом продуктов горения, образующихся в зажигательном горне. Полагают, что содержание кислорода в продуктах горения, поступающих в слой шихты при ее зажигании, должно быть не менее 6-8%. Количество кислорода в продуктах горения газовой смеси зависит от коэффициента избытка воздуха при зажигании.

Обычно коэффициент избытка воздуха при зажигании составляет  $\alpha = 1,5-2,5$ . Принимается  $\alpha = 1,7$ .

Материальный баланс горения 100 м<sup>3</sup> газовой смеси при зажигании шихты представлен в таблице 2.13, при составлении которой необходимо иметь в виду следующее. Графа «Количество компонента» заполняется по данным средневзвешенного состава газовой смеси.

В связи с тем, что берется 100 м<sup>3</sup> газовой смеси, содержание в ней компонентов в м<sup>3</sup> точно соответствует процентному содержанию их в смеси. При подсчете теоретической потребности кислорода на сжигание 100 м<sup>3</sup>

газовой смеси по данным графы «Требуется кислорода», из количества кислорода, потребного для сгорания CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, содержащихся в 100 м<sup>3</sup> газовой смеси, необходимо вычесть количество кислорода, находящегося в ней, так как он будет участвовать в процессах горения. Объемы азота и водяного пара, переходящие в продукты горения из воздуха, определяются по его расходу и содержанию в нем этих компонентов. Количество кислорода воздуха, переходящее в продукты горения, определяются по разности между содержанием его в воздухе и потребностью в нем для процессов горения.

Таблица 2.13 - Материальный баланс горения 100 м<sup>3</sup> газовой смеси при зажигании шихты, м<sup>3</sup>

| Компонент                                      | Кол-во компонента | Реакция горения компонента   | Требуется кислорода | Переходит в продукты горения |                      |                |                |        |
|--|-------------------|--|---------------------|------------------------------|----------------------|----------------|----------------|--------|
|  |                   |  |                     | CO <sub>2</sub>              | H <sub>2</sub> O пар | O <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | Итого  |
| CO <sub>2</sub>                                | 6,74              | -  | -                   | 6,74                         | -                    | -              | -              | 6,74   |
| CO   | 11,67             | 2CO+O <sub>2</sub> =2CO <sub>2</sub>                                 | 5,83                | 11,67                        | -                    | -              | -              | 11,67  |
| CH <sub>4</sub>                                | 17,09             | CH <sub>4</sub> +2O <sub>2</sub> =CO <sub>2</sub> +2H <sub>2</sub> O | 34,18               | 17,09                        | 34,18                | -              | -              | 51,27  |
| H <sub>2</sub>                                 | 44,71             | 2H <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> =2H <sub>2</sub> O                   | 22,35               | -                            | 44,71                | -              | -              | 44,71  |
| O <sub>2</sub>                                 | 0,59              | -  | -0,59               | -                            | -                    | -              | -              | -      |
| N <sub>2</sub>                                 | 19,20             | -  | -                   | -                            | -                    | -              | 19,20          | 19,20  |
| Потребность в O <sub>2</sub> при α =1,0        |                   |  | 61,77               | -                            | -                    | -              | -              | -      |
| Из воздуха (296,97 м <sup>3</sup> ) при α =1,0 |                   |  | -                   | -                            | 2,97                 | -              | 232,23         | 235,20 |
| Избыточным воздухом вносится                   |                   |  | -                   | -                            | 2,09                 | 43,46          | 163,39         | 208,94 |
| Всего продуктов горения                        |                   |  | -                   | 35,30                        | 83,95                | 43,46          | 414,82         | 577,73 |
| Состав продуктов горения, %                    |                   |  | -                   | -                            | 14,53                | 7,52           | 71,80          | 100    |

Теоретическая потребность в воздухе (α =1,0) на сжигание 100 м<sup>3</sup> газовой смеси определена по уравнению:

$$\frac{61,77}{20,8} \cdot 100 = 296,97 \text{ м}^3,$$

где 61,77 – теоретическая потребность в кислороде на сжигание 100 м<sup>3</sup> газовой смеси, м<sup>3</sup>;

20,8 – содержание кислорода в воздухе, %.

На зажигание 100 кг сухой шихты с возвратом, как было определено ранее, расходуется 1,57 м<sup>3</sup> газовой смеси. При этом образуется, в соответствии с таблицей 2.13, продуктов горения:

$$(577,73/100) \cdot 1,57 = 9,07 \text{ м}^3,$$

которые содержат, м<sup>3</sup>: CO<sub>2</sub> - 0,56; H<sub>2</sub>O<sub>пар</sub> - 1,31; O<sub>2</sub> - 0,68 и N<sub>2</sub> - 6,5.

Расходуется воздуха на зажигание 100 кг сухой шихты с возвратом:

$$\frac{296,97 + 208,94}{100} \cdot 1,57 = 7,94 \text{ м}^3.$$

## 2.6.2 Расчеты горения углерода и серы на 100 кг сухой шихты с возвратом

Работа агломерационных фабрик показывает, что 75-80% углерода шихты при ее спекании окисляется в  $\text{CO}_2$  и 20-25% в  $\text{CO}$ , а сера сгорает в  $\text{SO}_2$ . Принимается, что до  $\text{CO}_2$  окисляется 80 и до  $\text{CO}$  20% углерода, сгорающего в процессе агломерации.

На 100 кг шихты с возвратом сгорает (см.таблицы 2.7, 2.10):

$$\text{Углерода } \frac{3,48 + 1,567}{146,05} \cdot 100 = 3,46 \text{ кг};$$

$$\text{Серы } \frac{0,031 + 0,006}{146,05} \cdot 100 = 0,025 \text{ кг.}$$

$$\begin{aligned} \text{Углерода окисляется: до CO } & 3,46 \cdot 0,2 = 0,692 \text{ кг}; \\ & \text{до CO}_2 & 3,46 \cdot 0,8 = 2,768 \text{ кг.} \end{aligned}$$

Коэффициент избытка воздуха в процессах горения при спекании шихты на агломерационной машине с учетом вредных подсосов, т.е. поступлений воздуха в газовый тракт помимо спекаемого слоя шихты ввиду разного рода неплотностей, составляет 3,0-4,5. Принимается коэффициент избытка воздуха  $\alpha = 0,4$ .

Материальный баланс горения углерода и серы шихты представлен в таблице 2.14.

Таблица 2.14 - Материальный баланс горения углерода и серы на 100 кг сухой шихты с возвратом, м<sup>3</sup>

| Элемент                                       | Кол-во, кг | Реакция горения                       | Потребность в $\text{O}_2$ | Переходит в продукты горения |             |               |              |                          |              |        |
|---|------------|---------------------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------|---------------|--------------|--------------------------|--------------|--------|
|   |            |                                       |                            | $\text{CO}_2$                | $\text{CO}$ | $\text{SO}_2$ | $\text{O}_2$ | $\text{H}_2\text{O}$ пар | $\text{N}_2$ | Итого  |
| C   | 2,768      | $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$ | 5,17                       | 5,17                         | -           | -             | -            | -                        | -            | 5,17   |
| C   | 0,692      | $2\text{C} + \text{O}_2 = 2\text{CO}$ | 1,29                       | -                            | 2,58        | -             | -            | -                        | -            | 2,62   |
| S   | 0,025      | $\text{S} + \text{O}_2 = \text{SO}_2$ | 0,02                       | -                            | -           | 0,02          | -            | -                        | -            | 0,02   |
| Потребность в $\text{O}_2$ при $\alpha = 1,0$ |            |                                       | 6,48                       | -                            | -           | -             | -            | -                        | -            | -      |
| Воздух вносит $\text{O}_2$ при $\alpha = 4,0$ |            |                                       | 25,92                      | -                            | -           | -             | -            | -                        | -            | -      |
| Из воздуха                                    |            |                                       | -                          | -                            | -           | -             | 19,44        | 1,25                     | 97,5         | 118,19 |
| Образуется продуктов гор.                     |            |                                       | -                          | 5,17                         | 2,58        | 0,02          | 19,44        | 1,25                     | 97,5         | 125,96 |

Теоретическая потребность в кислороде на горение углерода и серы определяется по нижеприведенным соотношениям.

Определяется потребное количество кислорода на окисление углерода:

$$\begin{aligned} - \text{ до CO}_2 & (22,4/12) \cdot 2,768 = 5,17 \text{ м}^3; \\ - \text{ до CO} & (22,4/2/12) \cdot 0,692 = 1,29 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

$$\text{Требуется кислорода на горение серы } (22,4/32) \cdot 0,025 = 0,02 \text{ м}^3.$$

Таким образом, теоретическая потребность в кислороде ( $\alpha = 1,0$ ) на горение углерода и серы составит  $5,17 + 1,29 + 0,02 = 6,48 \text{ м}^3$ .

Воздухом вносится кислорода,  $\text{м}^3$ :  $6,48 \cdot 4 = 25,92$  (с учетом избытка  $\alpha = 4,0$ ). Это количество кислорода поступает с  $(25,92/20,8) \cdot 100 = 124,62 \text{ м}^3$  воздуха.

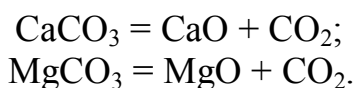
Количество кислорода, переходящее в продукты горения, определяется по разности между количеством кислорода, вносимым воздухом и расходуемым на горение углерода, серы и окисление железа, если последнее имеет место.

В продукты горения перейдет кислорода:  $25,92 - 6,48 = 19,44 \text{ м}^3$ .

### 2.6.3 Состав и количество сухих продуктов горения на 100 кг сухой шихты с возвратом

Состав и количество отсасываемых эксгаустером продуктов горения определяется составом и количеством газа, образующегося при сгорании газовой смеси зажигания, горения углерода и серы, диссоциации карбонатов и не учитываемыми нами летучими коксика.

Вследствие разложения флюса в продукты горения переходит  $\text{CO}_2$  за счет реакций:



Согласно данным таблиц 2.7 и 2.10 на 100 кг сухой шихты с возвратом флюс вносит:

$\text{CaO} ((2,97+0,16)/146,05) \cdot 100 = 2,14 \text{ кг}$ ;

$\text{MgO} ((0,2+0,01)/146,05) \cdot 100 = 0,144 \text{ кг}$ .

В продукты горения перейдет  $\text{CO}_2$  флюса в количестве:

$22,4 \cdot (2,14/56 + 0,144/40) = 0,94 \text{ м}^3$ .

При наличии в шихте сидеритовых руд продукты горения дополнительно обогащаются углекислотой за счет диссоциации:



Количество и состав продуктов горения, отсасываемых эксгаустером, представлены в таблице 2.15.

Таблица 2.15 - Количество и состав вносимых продуктов горения,  $\text{м}^3$

| Процесс                     | $\text{CO}_2$ | $\text{CO}$ | $\text{SO}_2$ | $\text{O}_2$ | $\text{N}_2$  | Всего         |
|-----------------------------|---------------|-------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| Зажигание шихты             | 0,56          | -           | -             | 0,68         | 6,50          | 7,74          |
| Горение С и S               | 5,17          | 2,58        | 0,02          | 19,44        | 97,50         | 124,71        |
| Разложение флюса            | 0,94          | -           | -             | -            | -             | 0,94          |
| <b>Итого</b>                | <b>6,67</b>   | <b>2,58</b> | <b>0,02</b>   | <b>20,12</b> | <b>104,00</b> | <b>133,39</b> |
| Состав продуктов горения, % | 5,00          | 1,93        | 0,015         | 15,08        | 77,97         | 100,0         |

Плотность сухих продуктов горения согласно уравнению (23):

$$\gamma_{\text{сг}} = \frac{1}{22,4 \cdot 100} (5,00 \cdot 44 + 1,93 \cdot 28 + 0,015 \cdot 64 + 15,08 \cdot 32 + 77,97 \cdot 28) = 1,31 \text{ кг/м}^3$$

Масса сухих продуктов горения на 100 кг сухой шихты с возвратом равна:

$$1,31 \cdot 133,39 = 174,35 \text{ кг.}$$

#### 2.6.4 Количество влаги, переходящей в продукты горения на 100 кг сухой шихты с возвратом

В продукты горения переходит влаги:

- гидратной из рудной смеси (см. таблицу 2.7, п.п.п):

$$(0,54/146,05) \cdot 100 = 0,37 \text{ кг;}$$

- гигроскопической из увлажненной шихты:

$$(11,01/146,05) \cdot 100 = 7,54 \text{ кг;}$$

- вносимой воздухом и образующейся при зажигании шихты (см. таблицу 2.14):

$$\frac{1,31 + 1,25}{22,4} \cdot 18 = 2,06 \text{ кг.}$$

Всего переходит влаги в продукты горения:  $0,37 + 7,54 + 2,06 = 9,97 \text{ кг.}$

В продуктах горения содержится пара:  $(9,97/18) \cdot 22,4 = 12,41 \text{ м}^3.$

На спекание 100 кг сухой шихты с возвратом расходуется воздуха при зажигании  $8,04 \text{ м}^3$  и на горение углерода и серы  $124,62 \text{ м}^3.$

Всего на спекание расходуется воздуха  $8,04 + 124,62 = 132,66 \text{ м}^3.$

Плотность воздуха согласно уравнению (23) составляет:

$$\gamma_{\text{в}} = \frac{1}{22,4 \cdot 100} \cdot (20,8 \cdot 32 + 1,0 \cdot 1878,2 \cdot 28) = 1,283 \text{ кг/м}^3.$$

Масса расходуемого воздуха равна  $1,283 \cdot 132,66 = 170,20 \text{ кг.}$

#### 2.7 Материальный баланс агломерационного процесса

С целью проверки правильности выполненных выше расчетов составляется материальный баланс, который представлен в таблице 2.16.

Подсчет величин для графы «кг/100 кг агломерата» производится делением величин графы «кг/100 кг шихты» на относительный выход агломерата из сухой шихты с возвратом. Например, гигроскопической влаги на 100 кг агломерата вносится  $7,54 : 0,948 = 7,95 \text{ кг.}$



Таблица 2.16 - Материальный баланс агломерационного процесса

| П р и х о д                    |                 |                      | Р а с х о д             |                 |                      |
|--------------------------------|-----------------|----------------------|-------------------------|-----------------|----------------------|
| Статьи                         | кг/100 кг шихты | кг/100 кг агломерата | Статьи                  | кг/100 кг шихты | кг/100 кг агломерата |
| Шихта сухая                    | 100,00          | 105,48               | Агломерат               | 94,80           | 100,00               |
| Гигроскопическая влага         | 7,54            | 7,95                 | Сухие продукты горения  | 174,35          | 183,91               |
| Газ на зажигание               | 1,085           | 1,14                 | Влага продуктов горения | 9,97            | 10,52                |
| Воздух на зажигание и спекание | 170,20          | 179,53               | -                       | -               | -                    |
| Итого                          | 278,825         | 294,1                | Итого                   | 279,12          | 294,4                |

Невязка баланса  $\frac{278,825 - 279,12}{278,825} \cdot 100 = 0,1 \%$  находится в допустимых пределах (0,5%), что свидетельствует о правильности выполненных расчетов.

### 3 Определение расхода материалов на 100 кг годного агломерата

Из 146,05 кг шихты с возвратом получается годного агломерата:  
 $146,05 \cdot 0,648 = 94,60$  кг.

Отсюда, исходя из данных таблицы 2.8, на 100 кг годного агломерата будет расходоваться:

- рудной смеси  $(90,00/94,60) \cdot 100 = 95,12$  кг;
- флюса  $(5,77/94,60) \cdot 100 = 6,10$  кг;
- коксика  $(4,27/94,60) \cdot 100 = 4,51$  кг.

Расход материалов представлен в таблице 3.1.

Таблица 3.1- Расход сухих и влажных материалов на 100 кг годного агломерата, кг

| Материал      | Расход сухого*              | Расход влажного |           |
|---------------|-----------------------------|-----------------|-----------|
|               |                             | Влажность, %    | Масса, кг |
| Железная руда | $95,12 \cdot 0,12 = 11,41$  | 2,3             | 11,68     |
| Концентрат 1  | $95,12 \cdot 0,45 = 42,8$   | 2,3             | 43,81     |
| Концентрат 2  | $95,12 \cdot 0,385 = 36,62$ | 4,3             | 38,27     |
| Окалина       | $95,12 \cdot 0,045 = 4,28$  | 3,0             | 4,40      |
| Известняк     | $6,10 \cdot 1,0 = 6,10$     | 1,1             | 6,17      |
| Коксик        | 4,51                        | 18,0            | 4,12      |

Примечание - \*Множители – относительное содержание материала в рудной смеси (в соответствии с заданием) и во флюсе. Расход влажного материала определяют по уравнению (22)

## Список рекомендуемой литературы

1 Коротич, В.И., Агломерация рудных материалов. Научное издание. [Текст]/В.И. Коротич, Ю.А. Фролов, Г.Н. Бездежский – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2003. – 400 с.

2 Доменное производство: Справочное издание. В 2-х т. Т.1. Подготовка руд и доменный процесс / Под ред. Вегмана Е.Ф.—М.: Metallurgia, 1989. – 496 с.

3 Коротич, В.И. Основы теории и технологии подготовки сырья к доменной плавке. [Текст]/В.И. Коротич – М.: Metallurgia, 1978. – 208 с.

4 Остроухов, М.Я., Справочник мастера-доменщика. [Текст]/М.Я. Остроухов, Л.Я. Шпарбер. – М.: Metallurgia, 1977. – 304 с.

5 Неясов, А.Г. Расчеты шихты, материального и теплового балансов агломерационного процесса. Учебное пособие. [Текст]/А.Г. Неясов – Свердловск: Изд-во УПИ им. С.М.Кирова, 1973. – 68с.

## Приложение А

### Варианты заданий

| № варианта | Рудная часть шихты                                      | Расход кокса, кг/т | Расход металлдобавок, кг/т |
|------------|---|--------------------|----------------------------|
| 1          | 80% Оленегорского конц. + 20% Оленегорской руды         | 420                | 5                          |
| 2          | 80% Костомукшского конц. + 20% Ковдорской руды          | 430                | 6                          |
| 3          | 80% Костомукшского концентрата + 20% Костомукшской руды | 440                | 7                          |
| 4          | 50% Лебединской аглоруды + 50% конц. КМА-руда           | 450                | 8                          |
| 5          | 90% конц. КМА-руда + 10% руды ОФ№2 (КМА-руда)           | 460                | 9                          |
| 6          | 60% Стойленской аглоруды + 40% Михайловской аглоруды    | 415                | 10                         |
| 7          | 80% Стойленской аглоруды + 20% Михайловского конц.      | 425                | 11                         |
| 8          | 90% Лебединского конц. + 10% руды ОФ№1 (КМА-руда)       | 435                | 12                         |
| 9          | 10% Лебединского жел. кварцита + 90% Лебединского конц. | 445                | 13                         |
| 10         | 70% Михайловской аглоруды + 30% Стойленского конц.      | 455                | 14                         |
| 11         | 50% Яковлевской руды + 50% Михайловского конц.          | 420                | 15                         |
| 12         | 50% Криворожской руды + 50% Яковлевской руды            | 430                | 5                          |
| 13         | 40% Криворожской магн. руды + 60% Михайловского конц.   | 440                | 6                          |
| 14         | 30% Серовской руды + 70% конц. ССГОК                    | 450                | 7                          |
| 15         | 25% Лебяжинского магн. железняка + 75% конц. ССГОК      | 460                | 8                          |
| 16         | 40% Соколовская руда + 60% Лисаковский конц             | 415                | 9                          |
| 17         | 10% Атасуйской руды + 90% Качканарского конц.           | 425                | 10                         |
| 18         | 30% Соколовской руды + 70% Качканарского конц.          | 435                | 11                         |
| 19         | 40% Михайловского конц. + 60% Лебединского конц.        | 445                | 12                         |
| 20         | 30% Стойленского конц. + 70% Костомукшского конц.       | 455                | 13                         |
| 21         | 45% Ковдорской руды + 55% Михайловского конц.           | 465                | 14                         |
| 22         | 70% Яковлевской руды + 30% конц. КМА-руда               | 405                | 15                         |
| 23         | 40% Михайловского конц. + 60% Лебединского конц.        | 400                | 8                          |

Продолжение приложения А

Варианты заданий

| № варианта | Рудная часть шихты  | Расход кокса, кг/т | Расход металлодобавок, кг/т |
|------------|---|--------------------|-----------------------------|
| 24         | 20% Атасуйской руды + 80% Лисаковского конц.                | 415                | 7                           |
| 25         | 35% Яковлевской руды + 65% конц. ССГОК                      | 475                | 11                          |
| 26         | 25% Новокиевской руды + 75% Стойленской аглоруды            | 425                | 9                           |
| 27         | 30% Стойленского конц. + 70% Костомукшского конц.           | 460                | 6                           |
| 28         | 45% Ковдорской руды + 55% Михайловского конц.               | 470                | 8                           |
| 29         | 70% Яковлевской руды + 30% конц. КМА-руда                   | 435                | 10                          |
| 30         | 90% Стойленской аглоруды + 10% Бакальского бурого железняка | 440                | 12                          |

Приложение Б  
Химический состав компонентов агломерационных шихт

| Месторождение                  | Fe <sub>общ</sub> | Fe <sub>мет</sub> | FeO   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO   | CuO | FeS | SO <sub>3</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | TiO <sub>2</sub> | V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | NiO | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | п.п.п. | ZnO | Σ   | H <sub>2</sub> O <sub>гидр</sub> |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------|--------------------------------|-------|------------------|--------------------------------|-------|-------|-----|-----|-----------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------|-----|--------------------------------|--------|-----|-----|----------------------------------|
| Оленегорская руда              | 29,88             |                   | 10,7  | 30,8                           | 0,94  | 49,3             | 2,64                           | 2,84  | 2,55  |     |     | 0,090           | 0,054                         | 0,1              |                               |     |                                |        |     | 100 |                                  |
| Оленегорский концентрат        | 60,15             |                   | 20,20 | 63,48                          | 0,09  | 14,30            | 0,58                           | 0,59  | 0,41  |     |     | 0,060           | 0,048                         |                  |                               |     |                                | 0,24   |     | 100 |                                  |
| Ковдорская руда                | 24,51             |                   | 10,50 | 23,35                          | 12,55 | 14,53            | 3,27                           | 17,70 | 14,90 |     |     | 0,300           | 2,900                         |                  |                               |     |                                |        |     | 100 |                                  |
| Костомукшская руда             | 31,10             |                   | 15,33 | 27,39                          |       | 49,35            | 2,17                           | 1,32  | 1,81  |     |     | 0,460           | 0,120                         |                  |                               |     |                                | 2,05   |     | 100 |                                  |
| Костомукшский концентрат       | 62,91             |                   | 20,10 | 67,53                          |       | 8,46             | 2,59                           | 0,74  | 0,18  |     |     | 0,320           | 0,082                         |                  |                               |     |                                |        |     | 100 |                                  |
| Комбинат КМА-руда ОФ № 1       | 33,48             |                   | 14,04 | 32,22                          | 0,22  | 43,26            | 1,36                           | 2,01  | 2,78  |     |     | 0,120           | 0,074                         |                  |                               |     |                                | 3,92   |     | 100 |                                  |
| Комбинат КМА-руда ОФ № 2       | 31,74             |                   | 15,33 | 28,30                          | 0,22  | 44,97            | 2,48                           | 2,07  | 3,02  |     |     | 0,140           | 0,065                         |                  |                               |     |                                | 3,40   |     | 100 |                                  |
| Комбинат КМА-руда концентрат   | 66,21             |                   | 27,30 | 64,25                          |       | 7,40             | 0,26                           | 0,19  | 0,45  |     |     | 0,081           | 0,068                         |                  |                               |     |                                |        |     | 100 |                                  |
| Лебединская аглоруда           | 55,73             |                   | 13,38 | 64,75                          | 0,13  | 11,08            | 2,91                           | 1,60  | 1,40  |     |     | 0,076           | 0,084                         |                  |                               |     |                                | 4,59   |     | 100 |                                  |
| Лебединский железистый кварцит | 35,60             |                   | 13,10 | 36,30                          |       | 45,26            | 1,86                           | 1,78  | 1,40  |     |     | 0,135           | 0,169                         |                  |                               |     |                                |        |     | 100 |                                  |
| Лебединский концентрат         | 68,77             |                   | 28,68 | 66,37                          |       | 4,07             | 0,21                           | 0,25  | 0,33  |     |     | 0,034           | 0,057                         |                  |                               |     |                                |        |     | 100 |                                  |
| Стойленская аглоруда           | 51,96             |                   | 5,14  | 68,52                          | 0,23  | 13,40            | 5,30                           | 1,04  | 0,51  |     |     | 0,060           | 0,052                         |                  |                               |     |                                | 5,75   |     | 100 |                                  |
| Стойленский концентрат         | 67,66             |                   | 28,30 | 65,20                          |       | 5,68             | 0,17                           | 0,16  | 0,41  |     |     | 0,046           | 0,038                         |                  |                               |     |                                |        |     | 100 |                                  |
| Михайловская аглоруда          | 57,33             |                   | 5,35  | 75,96                          | 0,06  | 10,42            | 1,08                           | 1,69  | 0,32  |     |     | 0,360           | 0,060                         |                  |                               |     |                                | 4,70   |     | 100 |                                  |

Продолжение приложения Б  
Химический состав компонентов агломерационных шихт

| Месторождение                  | Fe <sub>общ</sub> | Fe <sub>мет</sub> | FeO   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | CuO  | FeS  | SO <sub>3</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | TiO <sub>2</sub> | V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | NiO  | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | п.л.п. | ZnO  | Σ   | H <sub>2</sub> O <sub>гидр</sub> |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------|--------------------------------|------|------------------|--------------------------------|-------|------|------|------|-----------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------|------|--------------------------------|--------|------|-----|----------------------------------|
| Михайловский концентрат        | 65,70             |                   | 26,80 | 64,07                          | 0,02 | 7,12             | 0,10                           | 0,24  | 0,35 |      |      | 0,240           | 0,050                         | 0,01             |                               |      |                                | 1,00   |      | 100 |                                  |
| Криворожская руда              | 56,71             |                   | 0,80  | 80,12                          | 0,04 | 14,87            | 1,31                           | 0,80  | 0,05 |      |      | 0,040           | 0,080                         | 0,06             |                               |      |                                | 1,83   |      | 100 |                                  |
| Криворожская магнетитовая руда | 55,87             |                   | 21,25 | 56,20                          |      | 15,80            | 0,98                           | 1,35  | 4,30 |      |      | 0,085           | 0,030                         |                  |                               |      |                                |        |      | 100 |                                  |
| Серовская руда                 | 54,45             |                   | 16,00 | 60,00                          | 0,40 | 12,35            | 5,00                           | 3,00  | 1,00 |      |      | 0,500           | 0,150                         |                  |                               |      | 0,10                           | 1,50   |      | 100 |                                  |
| Яковлевская руда               | 60,41             |                   | 1,50  | 84,63                          |      | 5,10             | 2,40                           | 3,40  | 0,60 |      |      | 0,040           | 0,080                         |                  |                               |      |                                | 2,25   |      | 100 |                                  |
| Лебяжинский магн. железняк     | 47,35             |                   | 19,15 | 46,36                          | 0,62 | 13,48            | 5,37                           | 5,91  | 4,56 | 0,10 |      | 0,210           | 0,520                         |                  |                               |      |                                | 3,66   | 0,06 | 100 |                                  |
| Бакальский сидерит             | 34,18             |                   | 28,86 | 16,75                          | 1,50 | 6,88             | 2,59                           | 2,96  | 8,92 |      |      | 0,400           | 0,070                         |                  |                               |      |                                | 31,07  |      | 100 |                                  |
| Бакальский бурый железняк      | 50,15             |                   | 1,56  | 69,91                          | 1,63 | 10,44            | 3,56                           | 0,51  | 1,21 |      |      | 0,070           | 0,080                         |                  |                               |      |                                | 11,03  |      | 100 | 8,40                             |
| Соколовская руда               | 57,42             |                   | 22,60 | 56,91                          | 0,14 | 10,55            | 2,05                           | 3,69  | 2,74 | 0,22 | 0,25 | 0,180           | 0,195                         | 0,34             | 0,10                          |      | 0,02                           |        | 0,02 | 100 |                                  |
| Атаусуйская руда               | 50,93             |                   | 8,03  | 63,83                          | 0,48 | 15,11            | 3,64                           | 1,89  | 0,44 |      |      | 1,720           | 0,140                         |                  |                               | 1,16 |                                | 3,56   |      | 100 |                                  |
| Качканарский концентрат        | 63,78             |                   | 27,63 | 60,41                          | 0,17 | 4,17             | 2,03                           | 1,44  | 1,37 |      |      | 0,050           | 0,030                         | 2,20             | 0,50                          |      |                                |        |      | 100 | 7,20                             |
| Концентрат ССГОКа              | 64,27             |                   | 26,00 | 62,91                          | 0,15 | 3,66             | 1,09                           | 1,05  | 0,91 |      |      | 0,870           | 0,070                         | 0,30             | 0,10                          |      | 0,03                           | 2,86   |      | 100 | 8,50                             |
| Лисаковский концентрат         | 59,85             |                   | 20,00 | 63,27                          | 0,30 | 7,37             | 5,16                           | 0,60  | 0,72 |      |      | 0,050           | 1,700                         | 0,80             |                               |      |                                |        | 0,03 | 100 |                                  |
| Новокиевская руда              | 36,36             |                   | 1,64  | 50,12                          | 0,66 | 18,00            | 10,50                          | 1,30  | 3,07 |      |      | 0,070           | 0,250                         | 0,40             |                               | 0,68 | 1,83                           | 11,48  |      | 100 | 9,20                             |
| Колошниковая пыль              | 35,62             |                   | 9,74  | 40,06                          | 0,64 | 9,07             | 1,76                           | 10,00 | 2,23 |      |      | 0,028           | 0,320                         | 0,15             |                               |      |                                | 26,00  |      | 100 | 9,90                             |
| Окалина ОХМК                   | 71,16             |                   | 69,74 | 24,15                          | 0,78 | 2,97             | 0,83                           | 0,74  | 0,70 |      |      | 0,026           | 0,012                         | 0,06             |                               |      |                                |        |      | 100 | 2,40                             |
| Сварочный шлак                 | 51,24             |                   | 48,40 | 19,40                          | 0,52 | 30,00            | 1,20                           | 0,40  |      |      |      | 0,040           | 0,044                         |                  |                               |      |                                |        |      | 100 |                                  |
| Чугунная стружка               | 90,00             | 90,0              |       |                                | 0,31 | 7,83             |                                |       |      |      | 1,67 | 0,030           | 0,156                         |                  |                               |      |                                |        |      | 100 |                                  |

ШАПОВАЛОВ АЛЕКСЕЙ НИКОЛАЕВИЧ  
БОЛЬШИНА ЕЛЕНА ПАВЛОВНА

**РАСЧЕТ ШИХТЫ И МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА  
АГЛОМЕРАЦИОННОГО ПРОЦЕССА**

Методические указания  
по выполнению курсовой работы  
по дисциплине «Металлургические технологии, ч.1»  
для студентов направления 150400 «Металлургия»  
для очной формы обучения

|   |                                  |                |
|---|----------------------------------|----------------|
| Подписано в печать<br>19.02.2014        |                                  |                |
| Формат 60x90 $\frac{1}{16}$<br>Рег.№ 32 | Печать офсетная<br>Тираж 30 экз. | Уч.-изд.л. 2,5 |

Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС»  
Новотроицкий филиал  
462359, Оренбургская обл., г. Новотроицк, ул. Фрунзе, 8.  
E-mail: [nfmisis@yandex.ru](mailto:nfmisis@yandex.ru)  
Контактный тел. 8 (3537) 679729.